

УДК 621.372.85

## ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПОЗИЦИОННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СО СЛОИСТЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

А. В. СТРИЖАЧЕНКО

*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина,  
Украина, Харьков, 61077, пл. Свободы, 4*

**Аннотация.** Статья посвящена вопросу о собственных электромагнитных колебаниях, областях их существования и взаимосвязи со всеми возможными типами резонансов в волноводном разветвлении цилиндрический–радиальный волноводы со слоистым заполнением радиального волновода диэлектриком. Создана электродинамическая модель на основе строгого метода частичных областей с выделением общей области связи волноводов и представлении поля в ней в виде суперпозиции полей парциальных собственных волн волноводов. Исследуемая структура может использоваться для измерения электрических параметров диэлектрических образцов цилиндрической формы поперечного сечения. Показано, что измерения носят локальный характер, т.к. спектральные характеристики разветвления определяются, в основном, размером центральной области связи волноводов и электрическими параметрами той части диэлектрика, который там находится. Исследован вопрос о краевых эффектах в образцах конечной длины (частичное заполнение радиального волновода диэлектриком). Учет краевого эффекта позволяет уменьшить погрешность измерения диэлектрической проницаемости образцов произвольных размеров в рассматриваемой структуре.

**Ключевые слова:** композиционная структура; резонансная частота; диэлектрическая проницаемость

### 1. ВЕДЕНИЕ

Электромагнитным колебаниям в волноводных разветвлениях посвящено значительное число работ [1–5]. Это объясняется их широким использованием в технике сверхвысоких частот: в качестве составных частей пассивных и активных приборов [6], измерительных устройств для определения электрических параметров диэлектриков без их разрушения [7, 8]. Исследуемые волноводные структуры с диэлектрическим заполнением обладают достоинствами как открытых диэлектрических, так и закрытых резонаторных систем: достаточно высокая добротность при редком спектре частот собственных колебаний, а также возможность свободного доступа в резонансную область через открытые концы волноводных плеч.

Ранее рассматривались свободные колебания в цилиндрических, прямоугольных и планарных волноводных незаполненных разветвлениях [1–3] или с однородным заполнением [4]. Целью работы является исследование вопроса о «краевом» эффекте при частичном заполнении радиального волновода диэлектриком конечной длины. Это позволяет уменьшить погрешность измерения диэлектрической проницаемости образцов произвольных размеров в рассматриваемой структуре.

### 2. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Исследуемая структура (рис. 1) представляет собой разветвление цилиндрического с поперечным размером  $2a$  и радиального с поперечным размером  $l$  волноводов. Рассмотрим аксиально-симметричные колебания ( $\partial/\partial\varphi = 0$ )

DOI: [10.20535/S0021347018010053](https://doi.org/10.20535/S0021347018010053)

© А. В. Стрижаченко, 2018

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макеев, Ю.Г.; Рудь, Л.А.; Острицкая, С. Ю. Собственные аксиально-несимметричные колебания разветвления круглого и радиального волноводов. *Радиотехника и электроника*, Т. 39, № 5, С. 1497–1502, 1994.
2. Бердник, С.Л.; Катрич, В.А.; Нестеренко, М.В.; Пенкин, Ю.М. Е-плоскостное сочленение прямоугольных волноводов с вибраторно-щелевой связью между плечами. *Радиофизика и электроника*, Т. 20, № 1, С. 85–93, 2015. DOI: [10.15407/rej2015.01.085](https://doi.org/10.15407/rej2015.01.085).
3. Steshenko, S. O. An algorithm for analyzing planar junctions of waveguides of arbitrary cross-section with the use of eigenfunctions of the common aperture. *Telecom. and Radio Eng.*, Vol. 73, No. 10, P. 851–861, 2014. DOI: [10.1615/TelecomRadEng.v73.i10.10](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v73.i10.10).
4. Zvyagintsev, A. A.; Strizhachenko, A. V.; Furman, D. F. Natural electromagnetic modes in cylindrical waveguide junctions and their use for nondestructive microwave measurements of electromagnetic characteristics of materials. *Int. J. Infrared Milli. Waves*, Vol. 16, No. 5, P. 965–975, 1995. DOI: [10.1007/BF02066670](https://doi.org/10.1007/BF02066670).
5. Макеев, Ю.Г.; Моторненко, А.П.; Черпак, Н.Т.; Бабийчук, И.П.; Космына, М.Б. Об анизотропии диэлектрической проницаемости монокристаллических подложек алюмината лантана. *Письма в ЖТФ*, Т. 28, № 6, С. 12–17, 2002. URI: <http://journals.ioffe.ru/articles/40387>.
6. Wu, K.-L.; Yu, M.; Sivadas, A. Novel modal analysis of a circular-to-rectangular waveguide T-junction and its application to design of circular dual-mode filters. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 50, No. 2, P. 465–473, 2002. DOI: [10.1109/22.982225](https://doi.org/10.1109/22.982225).
7. Ilchenko, M.; Poplavko, Yu.; Yuschenko, A.; et al. The nondestructive MV test of extended dielectric and

metallized dielectric structures parameters by the method of electromagnetic resonances of waveguide junctions. *Proc. of 5th Int. Symp. on Recent Advances in Microwave Technology*, 11-14 Sept. 1995, Kiev, Ukraine. Kiev, 1996, P. 707-710.

8. Strizhachenko, A. V. The measurement of permittivity tensor of uniaxial crystals with tetragonal and

hexagonal symmetry at microwaves. *Electrical Power Eng. Frontier*, Vol. 2, No. 1, P. 17-21, 2013. URI: <http://www.academicpub.org/epf/paperInfo.aspx?PaperID=13820>.

Поступила в редакцию 14.11.2016

После переработки 21.11.2017